

УДК 622.23.02

DOI: <https://doi.org/10.31474/2415-7902-2023-1-8-1510.31474/2415-7902-2023-1-134-143>

Сергієнко О.І., Сергієнко Л.В.

ОБҐРУНТУВАННЯ СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ КУТІВ НАХИЛУ ПЛОЩАДКИ РУЙНУВАННЯ ПРИ ОБ'ЄМНОМУ НЕРІВНО-КОМПОНЕНТНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Мета Обґрунтування способу визначення кутів нахилу площадки руйнування при об'ємному нерівно-компонентному навантаженні.

Методика досліджень Математичне моделювання, аналітичні дослідження, аналізування параметрів дослідження, лабораторні дослідження.

Результати досліджень В статті обґрунтований спосіб визначення кутів нахилу площадки руйнування при об'ємному нерівно-компонентному навантаженні. Для визначення руйнуючих напружень, діючих на площадці руйнування, отримані формули для визначення кутів повороту площадки руйнування при об'ємному нерівно-компонентному навантаженні. Встановлені параметри напруженого стану та їх величини на момент руйнування зразків вугілля. Виконаний порівняльний аналіз отриманих теоретичних результатів з результатами лабораторного експерименту, де в зразках вугілля кути нахилу площини руйнування визначалися геометрично. При цьому, середнє значення похибки склало 2,6 %.

Наукова новизна Вперше представлені залежності для визначення кутів нахилу площадки руйнування при об'ємному нерівно-компонентному навантаженні від напруженого стану.

Практичне значення полягає у визначенні параметрів утворення техногенних тріщин в процесі руйнування гірських порід або вугілля в об'ємному нерівно-компонентному навантаженні. Завдяки кутам нахилу площадки руйнування можливо визначити значення параметрів руйнуючих напружень. За параметрами положення систем тріщин геологічних порушень у гірському масиві можливо визначити величини головних напружень.

Ключові слова: руйнування гірських порід, головні напруження, кути нахилу площадки руйнування, повні напруження, нормальні напруження, дотичні напруження, октаедричні напруження, параметр Лоде.

Актуальність. Відомо, що тріщинуватість гірських порід при розробці родовищ корисних копалин може мати першорядне значення. Так, тріщинуватість може полегшити виїмку вугілля з пластів, що розробляються, а вибір раціональних параметрів дегазаційних свердловин по відношенню до розташування систем тріщин сприяє підвищенню їх терміну експлуатації та поліпшенню коефіцієнта дегазації гірського масиву. Не дивлячи на позитивний вплив, тріщинуватість гірських порід у більшості випадків сприяє розвитку небезпечних гірничо-геологічних умов і явищ, таких як гірські удари, зсув порід покрівлі, обвали та обвалення.

При веденні очисних робіт у підроблюваному вуглепородному масиві утворюється техногенна тріщинуватість, параметри якої залежать від напружено-деформованого стану гірського масиву. Як показує досвід ведення очисних робіт в складних гірничо-геологічних умовах, періодичність обвалень підроблюваного вуглепородного масиву має нерівномірний характер, особливо в місцях різного ступеня порушеності. Це говорить про суттєвий вплив техногенної тріщинуватості на процес локального обвалення гірських порід у привибійний простір.

Отже, вивчення процесу розповсюдження техногенних тріщин у гірському масиві та руйнування гірських порід при веденні очисних робіт для підвищення безпеки та продуктивності праці є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження по визначенню кутів нахилу площини руйнування проводились інститутом фізики гірничих процесів національної академії наук України. Так в роботі [1] представлена формула для визначення кута нахилу віднесеного до максимального головного напруження σ_1 :

$\alpha = 45 + \rho$, де ρ – кут внутрішнього тертя породи або вугілля.

Згідно роботи [2], автором встановлено, що зсувні тріщини мають найбільш небезпечну орієнтацію, коли кут їхнього нахилу до напрямку стискаючого напруження σ_1 , складає: $\alpha = 0,5 \cdot \arctg(1/f)$, де f – коефіцієнт тертя берегів тріщини. При цьому, для різних гірських порід отримані різні кути проростання тріщин: для пісковиків: $\alpha = 60^\circ$, $\rho = 30^\circ$, аргілітів $\alpha = 65^\circ$ $\rho = 38^\circ$. Також встановлено, що, незважаючи на наявність тріщин у гірських породах, вторинні тріщини розвиваються під кутом до максимального головного напруження.

В роботі [2] встановлений механізм деформування та руйнування вугілля в умовах, що моделюють напружено-деформований стан пласта-супутника при веденні очисних робіт та закономірності впливу різної орієнтації природних (тектонічних) тріщин на вторинне тріщино-утворення при розвантаженні пласта-супутника.

Автори роботи [4] визначають кути нахилу найбільш вірогідної площадки руйнування у точці ґрунтового масиву, опираючись на плоский напружений стан.

Незважаючи на велику кількість досліджень з вивчення процесу розповсюдження тріщин у вуглепородному масиві, процес руйнування порід і вугілля в гірському масиві вимагає розгляду об'ємного напруженого стану, зокрема визначення кутів нахилу площини руйнування в просторі.

Мета статті (постановка завдання) Обґрунтування способу визначення кутів нахилу площадки руйнування при об'ємному нерівно-компонентному навантаженні.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовані наступні задачі:

- 1) Обґрунтувати доцільність визначення кутів нахилу площадки руйнування при об'ємному нерівно-компонентному навантаженні;
- 2) Створити геометричну модель і встановити аналітичну залежності для визначення кутів нахилу площадки руйнування при об'ємному нерівно-компонентному навантаженні вуглепородного масиву;
- 3) Виконати порівняльний аналіз одержаних результатів дослідження з лабораторним експериментом.

Виклад основного матеріалу. В процесі деформування тіл під навантаженням, утворюється площадка руйнування, на якій спостерігаються руйнуючі напруження: нормальні та дотичні. Ці нормальні та дотичні напруження створюють в сукупності повні руйнуючі напруження, визначення яких пов'язано з визначенням кутів нахилу площадки руйнування. Завдяки визначення положення площадки руйнування є можливість визначити процес розвитку тріщини у будь яких тілах.

Руйнування твердих тіл відбувається внаслідок їх деформування під дією граничних розтягуючих, стискаючих та дотичних напружень. Якщо на тіло діє навантаження, відбувається зростання тріщин, порушується його цілісність і настає незворотний поділ тіла на частини. Залежно від характеру розподілу напружень процес руйнування буває лише двох типів: відрив і зсув. На утворених під час руйнування вільних поверхнях обов'язково діють розтягувальні або дотичні напруження, при цьому зовнішнє навантаження може бути стискаючим. Незважаючи на те, що зовнішнє навантаження є стискаючим, тіло руйнується під впливом дотичних і нормальних розтягувальних напружень, що діють на площадках руйнування. Що стосується варіанта з компонентами нормальних стискаючих напружень на цих площадках, то їхня дія перешкоджає руйнуванню.

Сили, що діють на площині руйнування (рис. 1), утворені векторами нормального σ_n та дотичного напружень τ_n , і розраховуються за формулами теорії Мора:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\alpha \quad (1)$$

$$\tau_n = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha \quad (2)$$

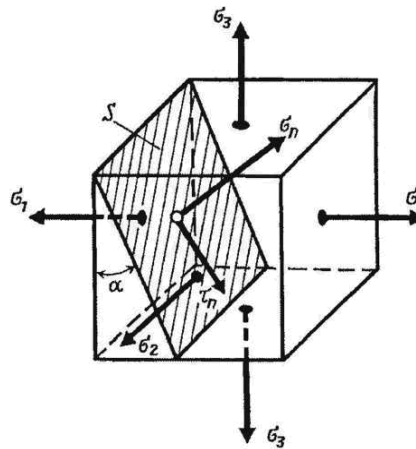


Рисунок 1 – Орієнтація напружень в елементарному об'ємі

Висновок критерію Мору проводиться з урахуванням умов рівноваги трикутної призми (рис. 1), утвореної шляхом поділу елементарного паралелепіпеда похилою площиною S , яка незалежно від кута нахилу, а завжди паралельна одній з головних осей.

Повні S , нормальні σ_n та дотичні τ_n напруження на площадці руйнування, з урахуванням усіх компонент напружень, визначаються за формулами:

$$S^2 = \sigma_1^2 \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_2^2 \cdot \cos^2 \beta + \sigma_3^2 \cdot \cos^2 \gamma \quad (3)$$

$$\sigma_n = \sigma_1 \cdot \cos^2 \alpha + \sigma_2 \cdot \cos^2 \beta + \sigma_3 \cdot \cos^2 \gamma \quad (4)$$

$$\tau_n = \sqrt{S^2 - \sigma_n^2}, \quad (5)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні напруження, Па;

α, β, γ – кути нахилу нормалі площини руйнування до осей координат, які пов'язані між собою виразом:

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \quad (6)$$

Раніше при вирішенні задач геомеханіки, значення кутів нахилу нормалі площадки руйнування до осей головного напруження (α, β, γ) задавалися. Але різним значенням компонент напружень відповідають різні кути нахилу площадки руйнування, які необхідно визначати. Так, при гідростатичному навантаженні ($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$), кути нахилу площадки руйнування мають однакову величину $\alpha = \beta = \gamma \approx 54,74^\circ$. Напруження, які діють на площині руйнування при цих кутах, називають октаедричними (σ_o, τ_o).

У статті пропонуються залежності для визначення кутів нахилу площадки руйнування при різних значеннях головних напружень ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$). Кути нахилу площадки руйнування до осей координат головних напружень отримані за допомогою геометричної моделі, яка представлена двома кресленнями (рис. 2 а,б).

На рисунку 2б нормаль OD , яка опущена на площину, перетинає трикутник ABC в точці перетину висот (AK , BN , CM). Далі знаходяться пріоритетні відрізки OD , OA , OB , OC та визначаються кути нахилу площадки руйнування за наступними залежностями:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{OD}{OA}\right), \quad (7)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{OD}{OB}\right), \quad (8)$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{OD}{OC}\right) \quad (9)$$

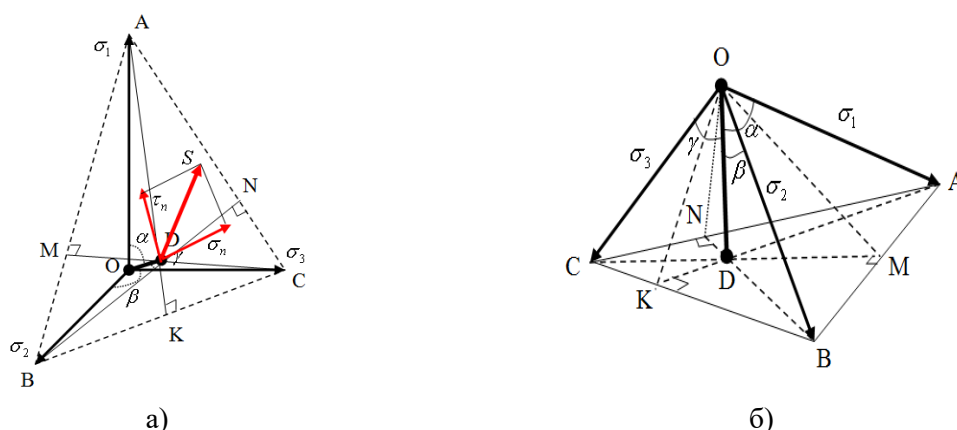


Рисунок 2 – Геометрична модель площині руйнування в об’ємному напруженому стані.

Після цього отримані залежності (7–9) з урахування головних напружень σ_1 , σ_2 , σ_3 приймають наступний вигляд:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{\sigma_2 \cdot \sigma_3}{\sqrt{\sigma_1^2 \cdot \sigma_2^2 + \sigma_1^2 \cdot \sigma_3^2 + \sigma_2^2 \cdot \sigma_3^2}}\right), \quad (10)$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{\sigma_1 \cdot \sigma_3}{\sqrt{\sigma_1^2 \cdot \sigma_2^2 + \sigma_1^2 \cdot \sigma_3^2 + \sigma_2^2 \cdot \sigma_3^2}}\right), \quad (11)$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{\sigma_1 \cdot \sigma_2}{\sqrt{\sigma_1^2 \cdot \sigma_2^2 + \sigma_1^2 \cdot \sigma_3^2 + \sigma_2^2 \cdot \sigma_3^2}}\right). \quad (12)$$

Таким чином, були отримані залежності (10–12) для визначення кутів нахилу площадки руйнування для різного об’ємного напружено-деформованого стану. Завдяки отриманим залежностям можливо визначити положення площини руйнування у будь якій точці напруженого гірського масиву. Це дасть можливість встановити повну картину розповсюдження техногенної тріщинуватості. Також вирішити зворотне завдання по визначенню величин параметрів головних напружень по положенню систем тріщин геологічних порушень у гірському масиві.

Обговорення результатів. В роботі [5, 6] були представлені лабораторні результати по дослідженню механізму руйнування вугілля в умовах різного об’ємного напружено-деформованого стану. Для лабораторного експерименту використовувалася установка нерівно-компонентного тривісного стиснення, яка дозволяє у трьох взаємно

перпендикулярних напрямках створювати незалежні напруження, подібні до величин у гірському масиві [7]. Випробування проводили на зразках вугілля кубічної форми з розміром ребра 55 мм.

На рисунку 3 а, б показані результати навантаження зразків вугілля №1, № 2 за програмою $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$, а на рисунку 3 в, г відповідно зразків №3, №4 за програмою $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

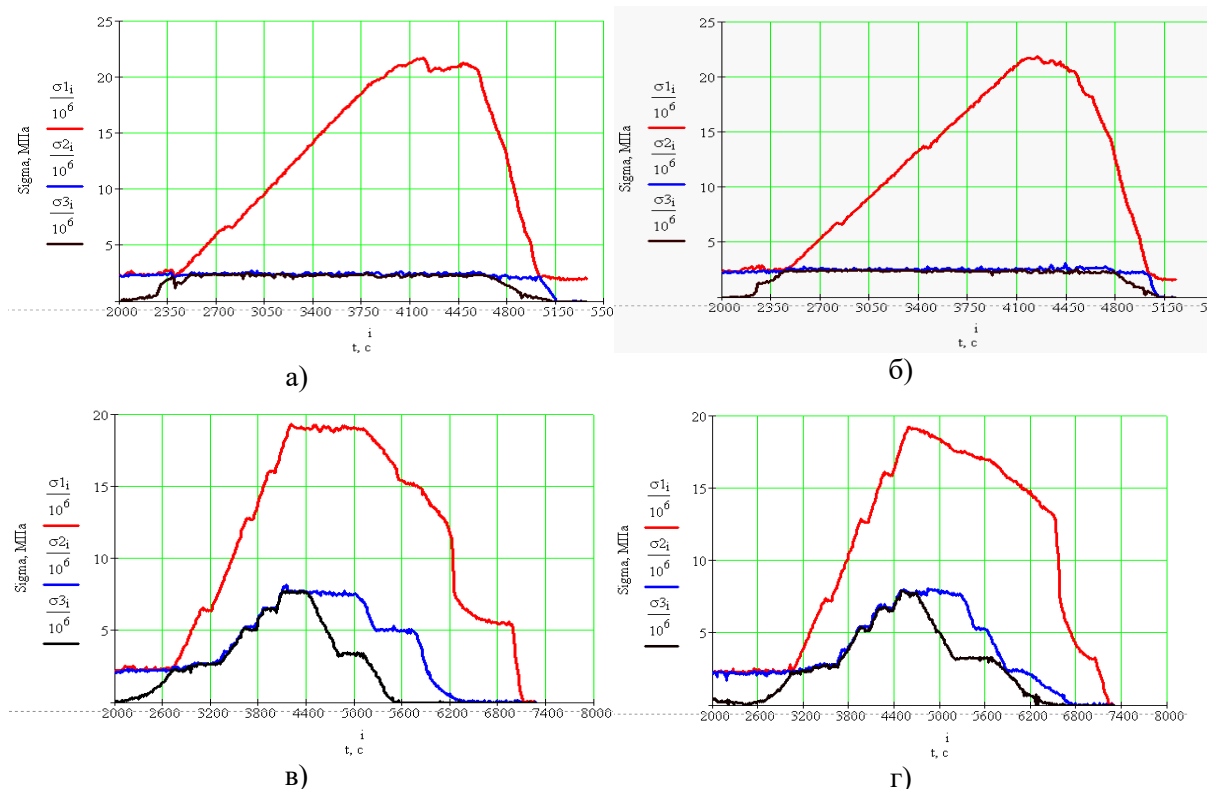


Рисунок 3 – Програма навантаження зразків вугілля

Далі по параметру Лодє був встановлений перехід з одного виду напруженого стану у другий. Так, по першому режиму навантаження (рис. 4 а, б) відбувається перехід від узагальненого стиснення до узагальненого розтягування, а по другому (рис. 4 в, г) – від узагальненого стиснення до узагальненого зсуву, або між ними.

Параметр Лодє показав, що почався процес руйнування зразків вугілля. При цьому, були визначені, на момент руйнування зразка, величини компонент головних напружень і кути нахилу площадки руйнування для заданих програм навантаження.

На рисунку 5 показана зміна кутів нахилу площадки руйнування зразків вугілля від напруженого стану у процесі навантаження. Руйнування зразку вугілля почне відбуватися тоді, коли бокові напруження не зможуть перешкоджати цьому процесу.

Таким чином встановлено, що руйнування зразків вугілля відбувається під кутами нахилу для режиму навантаження:

1. $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$: $\alpha \approx 75^\circ \div 83^\circ$, $\beta \approx 74^\circ \div 83^\circ$, $\gamma \approx 22^\circ \div 10^\circ$;
2. $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$: $\alpha \approx 80^\circ \div 81^\circ$, $\beta \approx 68^\circ \div 67^\circ$, $\gamma \approx 25^\circ$.

У таблиці 1 представлені параметри напруженого стану та їх величини на момент руйнування зразків вугілля, а також графічна інтерпретація положення площини руйнування у просторі.

У таблиці 2 представлені значення кутів нахилу площадки руйнування за отриманою залежністю та результатами лабораторного експерименту.

Для встановлення достовірності отриманої залежності по визначенню кутів нахилу був виконаний порівняльний аналіз отриманих теоретичних результатів з результатами лабораторного експерименту, де в зразках вугілля кути нахилу площини руйнування (α , β , γ) визначалися геометрично. При цьому, середнє значення похибки склало 2,6 %.

Встановлено, що теоретично отримані значення кутів нахилу площини руйнування (α , β , γ) для зразків вугілля, з використанням формул (10–12), повністю геометрично співпадає з результатами лабораторних досліджень, що дає можливість у будь якій точці гірського масиву визначити його об'ємний напружено-деформований стан ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) та повну картину розповсюдження техногенних тріщин у напруженому масиві.

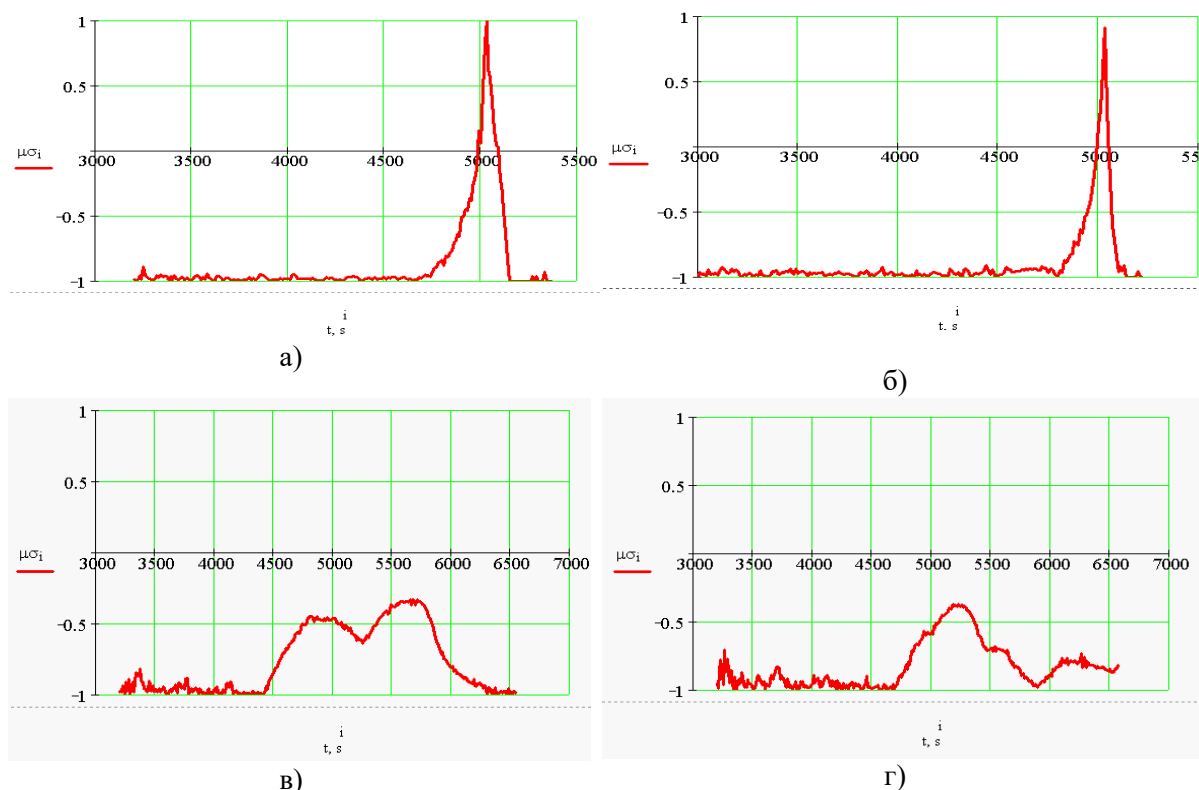


Рисунок 4 – Зміна параметру виду напруженого стану (параметр Лоде) для зразків вугілля: а) зразок №1; б) зразок №2; в) зразок №3; г) зразок №4.

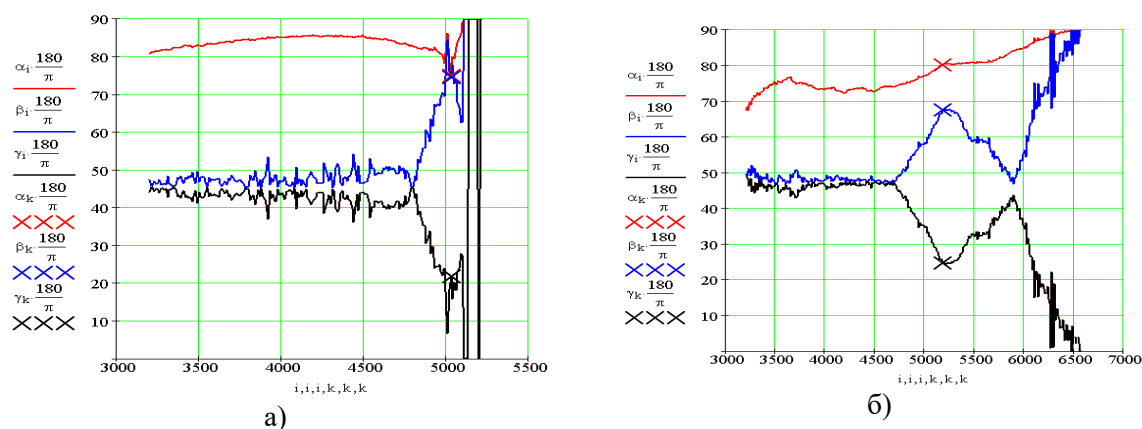
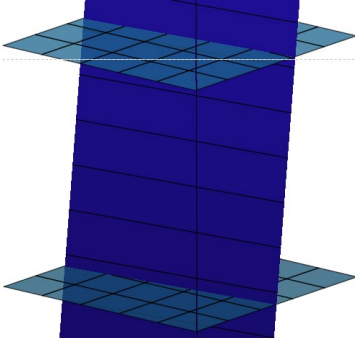
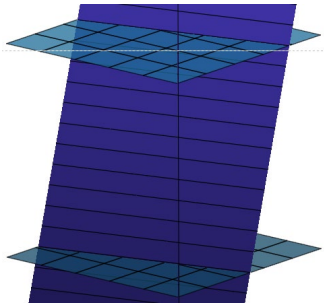
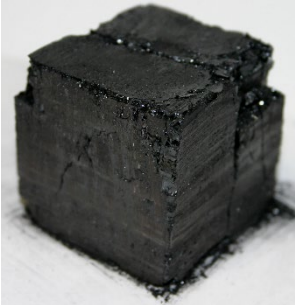
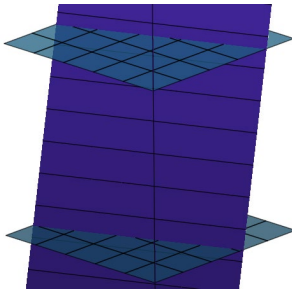
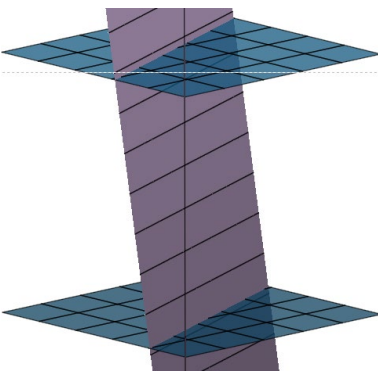


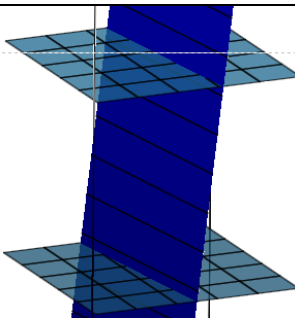
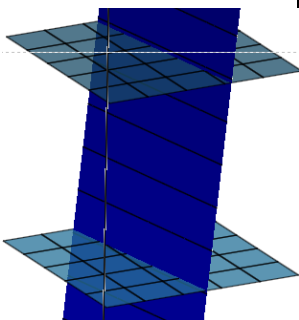
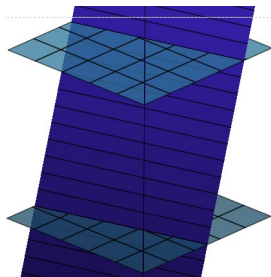
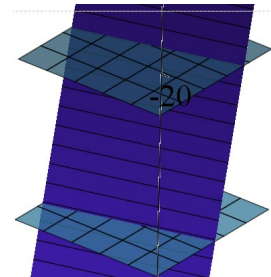
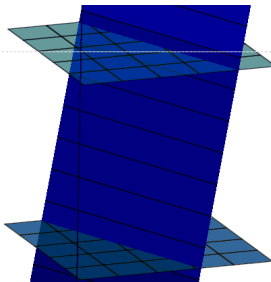
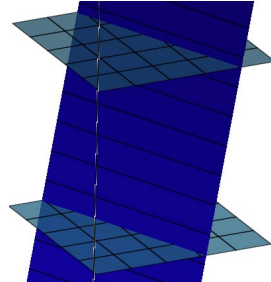
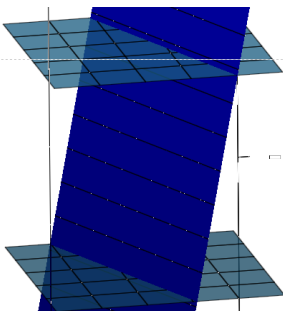
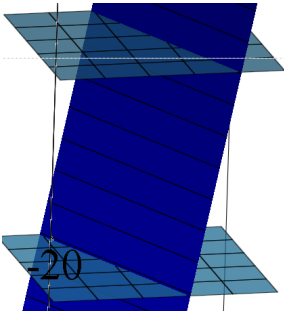
Рисунок 5 – Зміна кутів нахилу площадки руйнування зразків вугілля від напруженого стану у процесі навантаження

Позначкою (x) відмічений початок процесу руйнування зразку: а) №2, б) №4.

Таблиця 1 – Параметри напруженого стану та їх величини на момент руйнування зразків вугілля

№	Параметри напруженого стану та їх величини на момент початку руйнування зразків вугілля			Положення площини руйнування у просторі по відношенню до граней зразків	Зразок вугілля після випробування
1	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа		
	2.197	2.194	0.266		
	S , МПа	σ_n , МПа	τ_n , МПа		
	0.454	0.321	0.321		
	α , °	β , °	γ , °		
	83.152	83.142	9.715		
2	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа		
	2.092	2.027	0.582		
	S , МПа	σ_n , МПа	τ_n , МПа		
	0.935	0.785	0.509		
	α , °	β , °	γ , °		
	75.036	74.545	21.781		
3	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа		
	19.265	7.773	3.395		
	S , МПа	σ_n , МПа	τ_n , МПа		
	5.32	4.482	2.866		
	α , °	β , °	γ , °		
	80.826	66.726	25.22		
4	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа		
	17.664	7.797	3.283		
	S , МПа	σ_n , МПа	τ_n , МПа		
	5.166	4.354	2.781		
	α , °	β , °	γ , °		
	80.279	67.51	24.717		

Таблиця 2 – Значення кутів нахилу площадки руйнування за отриманою залежністю та результатами лабораторного експерименту

№	Кути нахилу площадки руйнування	Теоретичні значення кутів площадки руйнування, град	Виміряні геометричні значення кутів площадки руйнування, град	Положення площини руйнування у просторі по відношенню до граней зразків (Теоретичне визначення)	Положення площини руйнування у просторі по відношенню до граней зразків (Геометричне вимірювання по зразкам)
1	$\alpha, ^\circ$	83.152	83.801		
	$\beta, ^\circ$	83.142	80.963		
	$\gamma, ^\circ$	9.715	10.988		
2	$\alpha, ^\circ$	75.036	77.512		
	$\beta, ^\circ$	74.545	74.737		
	$\gamma, ^\circ$	21.781	19.918		
3	$\alpha, ^\circ$	80.826	80.644		
	$\beta, ^\circ$	66.726	66.585		
	$\gamma, ^\circ$	25.22	25.426		
4	$\alpha, ^\circ$	80.279	79.654		
	$\beta, ^\circ$	67.51	67.608		
	$\gamma, ^\circ$	24.717	24.907		

Висновки

1. Руйнування зразків вугілля відбувається під кутами нахилу для режиму навантаження $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$: $\alpha \approx 75^\circ \div 83^\circ$, $\beta \approx 74^\circ \div 83^\circ$, $\gamma \approx 22^\circ \div 10^\circ$; для режиму навантаження $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$: $\alpha \approx 80^\circ \div 81^\circ$, $\beta \approx 68^\circ \div 67^\circ$, $\gamma \approx 25^\circ$.

2. Значення кутів нахилу площини руйнування (α , β , γ), які отримані для зразків вугілля за встановленими залежностями (10–12), повністю співпадають з результатами лабораторних досліджень. Середнє значення похибки склало 2,6 %. Це дає можливість, при наявності відомих параметрів напружено-деформованого стану ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$), визначити повні (S), нормальні (σ_n) і дотичні напруження (τ_n), а також положення площини руйнування (α , β , γ), у будь-якої точці гірського масиву та встановити повну картину розповсюдження техногенних тріщин.

3. Аналіз дослідження показав, що при наявності відомих параметрів положення систем тріщин геологічних порушень у гірському масиві, можливо визначити величини головних напружень ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$), тобто вирішити обернену задачу.

Список літератури

1. А.Д. Алексеев, Н.В. Недодаев. Предельное состояние горных пород. Киев: Наукова думка, 1982. 198 с.
2. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Недра, 1974. 640 с.
3. Сергієнко Л.В. Обґрунтування параметрів прогнозу зон скупчення метану у пластах-супутниках в умовах тектонічної порушеності. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Дніпро 2016р., 22с.
4. Богомоллова О.А., Жиделев А.В. Определение угла наклона наиболее вероятной площадки разрушения в точке грунтового массива. Construction and Geotechnics. 2020. Т. 11, No 1. С. 20–29. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.1.02
5. Лобков Н.И., Сергиенко А.И., Сергиенко Л.В. Исследование динамического разрушения образцов угля при объемном сжатии. Збірник матеріалів конференції “Геотехнології і охорона праці у гірничій промисловості”. КП ДонНТУ. Донецьк: ООО “Цифровая типография”, 2009. С.17-23.
6. Сергиенко Л.В., Гладкая Е.В., Молодецкий А.В. Исследование механизма разрушения угля в условиях, моделирующих напряженно-деформированное состояние пласта-спутника при ведении очистных работ. Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2015. Вып. 124 С.106 –114.
7. Алексеев А.Д. Физика угля и горных процессов. Киев: Наукова думка, 2010. 424 с.

References

1. A.D. Alekseev, N.V. Nedodaev. Predelnoe sostoianie gornykh porod. Kiev Naukova dumka, 1982. 198 s. (in Russian)
2. Herepanov G.P. Mekhanika khrupkogo razrusheniia. M. Nedra, 1974. 640. (in Russian).
3. Serhiyenko L.V. Obgruntuvannya parametriv prohnozu zon skupchennya metanu u plastakh-sputnykakh v umovakh tektonichnoyi porushenosti. Avtoreferat dysertatsiyi na zdobuttya naukovooho stupenya kandydata tekhnichnykh nauk. Dnipro. (in Ukraine)
4. Bogomolova O.A., ZHidelev A.V. Opredelenie ugla naklona naibolee veroiatnoi ploshchadki razrusheniia v tochke gruntovogo massiva. Construction and Geotechnics. 2020. T. 11, No 1. . 20–29. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.1.02(in Russian).
5. Lobkov N.I., Sergienko A.I., Sergienko L.V. Issledovanie dinamicheskogo razrusheniia obraztsov uglia pri obieemnom szhatii. Zbrnik materialv konferents Geotekhnolog okhorona prats u grnichi promislovost. K DonNTU. Donetsk ООО TSifrovaia tipografiia, 2009..17-23. (in Russian)
6. Sergienko L.V., Gladkaia E.V., Molodetskii A.V. Issledovanie mekhanizma razrusheniia uglia v usloviiakh, modeliruiushchikh napriazhenno-deformirovannoe sostoianie plasta-sputnika pri vedenii ochistnykh rabot. Geotekhnicheskaiia mekhanika Mezhd. sb. nauchn. tr. IGTМ NAN Ukrainy. Dnepropetrovsk, 2015. Vyp. 124 .106 114. (in Russian)
7. Alekseev A.D. Fizika uglia i gornykh protsessov. Kiev Naukova dumka, 2010. 424. (in Russian)

Надійшла до редакції 09.05.2023

Serhiienko A., Serhiienko L.

JUSTIFICATION OF THE METHOD FOR DETERMINING THE ANGLES OF INCLINE OF A DESTRUCTION AREA UNDER A VOLUME UNEQUAL-COMPONENT LOAD

Purpose. Justification of the method for determining the angles of inclination of a destruction platform in the case of a volume uneven-component load.

Methodology. Mathematical modeling, analytical studies, analysis of research parameters, laboratory studies.

Results. The article substantiates the method for determining the angles of inclination of the fracture site under a volume uneven-component loading. To determine the destructive stresses acting on the fracture site, the formulas have been obtained for determining the angles of rotation of the fracture site under volumetric uneven-component loading. The parameters of the stress state and their values at the moment of destruction of the coal samples have been established. A comparative analysis of the obtained theoretical results with the results of a laboratory experiment has been carried out, where the angles of inclination of the fracture plane in the coal samples have been determined geometrically. At the same time, the average value of the error is 2.6%.

Scientific novelty. The dependences for determining the angles of inclination of the fracture site in the case of volume unequal-component loading from the stress state have been presented for the first time.

Practical significance consists in determining the parameters of the formation of man-made cracks in the process of destruction of rocks or coal in a volumetric unequal-component load. Due to the angles of inclination of the destruction site, it is possible to determine the value of the parameters of the destructive stresses. According to the parameters of the position of the crack systems of geological disturbances in the rock massif, it is possible to determine the values of the principal stresses.

Keywords: rock failure, principal stresses, angles of inclination of the failure platform, total stresses, normal stresses, tangential stresses, octahedral stresses, Lode parameter.

Відомості про авторів

Сергієнко Олександр Іванович – к.т.н, доцент кафедри управління гірничим виробництвом і охорона праці, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (Юридична адреса: пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85300. Фактична адреса: вул. Потебні, 56, м. Луцьк, Волинська обл., 43000, Україна). E-mail: oleksandr.serhiienko@donntu.edu.ua

Сергієнко Ліана Валеріївна – к.т.н, провідний фахівець відділу докторантури, аспірантури. Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (Юридична адреса: пл. Шибанкова, 2, м. Покровськ, Донецька обл., 85300. Фактична адреса: вул. Потебні, 56, м. Луцьк, Волинська обл., 43000, Україна). E-mail: liana.serhiienko@donntu.edu.ua

Serhiienko Oleksandr - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mining Management and Labour Protection, Donetsk National Technical University, (Legal address: 2, Shybankova Square, Pokrovsk, Donetsk oblast, 85300. Actual address: 56, Potebni Street, Lutsk, Volyn oblast, 43000, Ukraine).

E-mail: oleksandr.serhiienko@donntu.edu.ua

Serhiienko Liana - Candidate of Technical Sciences, leading specialist of the department of doctoral and postgraduate studies. Donetsk National Technical University, (Legal address: 2, Shybankova Square, Pokrovsk, Donetsk oblast, 85300. Actual address: 56, Potebni Street, Lutsk, Volyn oblast, 43000, Ukraine).

E-mail: liana.serhiienko@donntu.edu.ua